

Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas ultramáficas del macizo de Herbeira, complejo de Cabo Ortegal (NO de España)

B. García Izquierdo¹, R. Lunar², R. Capote¹ y S. Monterrubio³

1. Dpto. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid. garciabe@geo.ucm.es

2. Dpto. de Cristalografía y Mineralogía, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid. lunar@geo.ucm.es

3. Escuela Politécnica de Zamora, Universidad de Salamanca, Avda. Requejo 33, 49022 Zamora. seramp@usal.es

ABSTRACT

The uppermost unit in Cabo Ortegal complex is composed of ultramafic rocks that crop out in three massifs: Herbeira, Limo and Uzal. Herbeira massif shows two different areas separated by a NNE-SSW fault zone. The western area is formed by a layered complex of dunites and pyroxenites which lies on top of a basal harzburgite. Amphibole-bearing peridotites and hornblendites, with aluminous spinels ($Cr\# < 0.4$), are the main lithologies in the eastern area. Hornblende is invariably present in all types of ultramafic rocks in the Herbeira massif, but the eastern peridotites mostly contain more than 15% of amphibole. Almost all ultramafic units show light rare earth elements (LREE) enriched patterns, however the basal harzburgite shows LREE-depleted patterns with negative slope while the rocks from layered complex are LREE enriched. Both ultramafic rocks from Herbeira present marked significant Nb and Zr negative anomalies. The mineral chemistry, the REE abundances, geological and petrological data for Herbeira suggest a open-system melting to explain the formation of ultramafic rocks. The appropriate geodynamic scenario is a mantle wedge above a supra-subduction zone where the influx of an exotic fluid/melt generated in the upper parts of the subducting slab produces melting and melt extraction in the overlying mantle wedge.

Key words: Ultramafic rocks, supra-subduction, REE, open- melting system.

INTRODUCCIÓN

El Complejo de Cabo Ortegal, en el NO de España, es uno de los cinco Complejos Alóctonos emplazados sobre Gondwana (Autóctono Ibérico) durante la orogenia Hercínica. Estos Complejos están constituidos por varias unidades de características litológicas y tectonometamórficas diferenciadas, las cuales están imbricadas tectónicamente mediante cabalgamientos. En el Complejo de Cabo Ortegal afloran dos unidades alóctonas correlacionables a escala regional con las unidades estructurales superiores del resto de los Complejos Alóctonos; la Unidad Alóctona Superior y la Unidad Ofiolítica. La Unidad Alóctona Superior está compuesta por gneises, granulitas de alta presión y alta temperatura, eclogitas y rocas ultramáficas. Las rocas ultramáficas afloran en tres macizos; Limo y Uzal, compuestos principalmente por peridotitas anfibólicas y harzburgitas con niveles de piroxenita, y el macizo de Herbeira en el que aparecen, además de las litologías anteriormente mencionadas, dunites con niveles abundantes de cromita, piroxenitas, websteritas y rocas máficas (Girardeau y Gil Ibarguchi, 1991; Monterrubio, 1991; Moreno 1999).

El Macizo de Herbeira (Fig. 1) se encuentra dividido en

dos zonas de diferente litología por una falla de dirección NNE-SSO denominada Falla de Trans-Herbeira (FTH) (Moreno, 1999; Moreno *et al.*, 2001).

Peridotitas anfibólicas acompañadas de pequeños niveles de piroxenita (*Peridotitas Orientales*) ocupan la zona al este de la FTH. La zona occidental del macizo está compuesta de muro a techo por: harzburgita, dunita alternante con harzburgitas, lherzolitas y piroxenitas, piroxenita masiva, dunita masiva con niveles menores de piroxenitas.

Todas las rocas ultramáficas presentan una foliación sub-paralela al bandeo litológico y una lineación de estiramiento, definida por los ortopiroxenos y las espinelas, de dirección NNE-SSO, como respuesta a una deformación producida a altas temperaturas (Girardeau y Gil Ibarguchi, 1991; Ábalos *et al.*, 2003).

ROCAS ULTRAMÁFICAS DEL MACIZO DE HERBEIRA

Sector Oriental

Las peridotitas que afloran al este de la FTH, se caracterizan por presentar altos contenidos en anfíbol superiores a

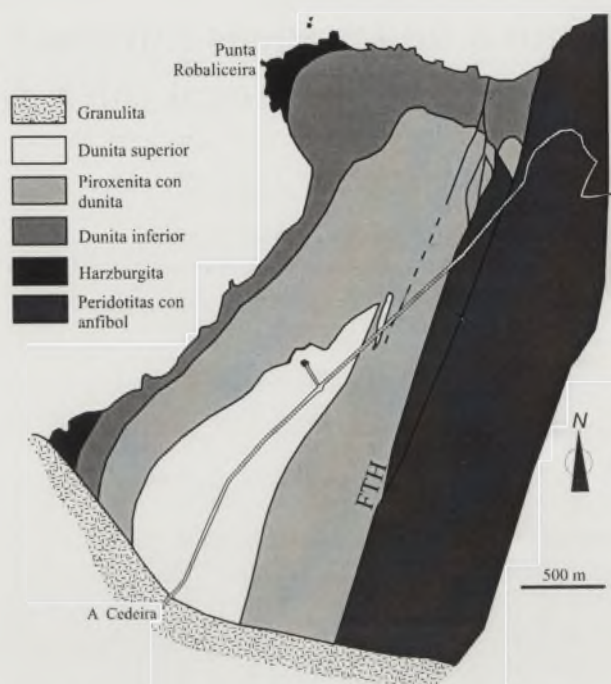


FIGURA 1. Esquema geológico del Macizo de Herbeira según Moreno (1999).

un 15% y un elevado grado de serpentinización. Son, por tanto peridotitas anfibólicas en su mayoría, con una composición modal de un 15-32% de olivino, 3-18% de ortopiroxeno, 0,5-6% de clinopiroxeno, 17-29% de anfíbol, 1,5-6% de clorita, 2,5-6,5% de espinelas y 30-60% de minerales del grupo de la serpentina. Estas peridotitas están intensamente deformadas y muestran texturas porfiroclásticas.

En este sector, aparecen también pequeños cuerpos intrusivos de horblendita ricos en flogopita y en ocasiones con un alto contenido en apatito.

Sector Occidental

En esta zona aflora una harzburgita de carácter mantélico, sobre la que se apoya un complejo estratificado compuesto por una piroxenita masiva limitada a base y a techo por dos unidades mayoritariamente duníticas, dunita inferior y superior, respectivamente (Moreno, 1999).

La harzburgita presenta una fábrica tectónica de tipo L-S, desarrollada en condiciones mantélicas. En esta unidad es frecuente encontrar niveles de dunita, concordantes con la foliación, con concentraciones masivas de cromita. La unidad denominada dunita inferior, está constituida por una secuencia alternante de dunitas, piroxenitas, harzburgitas, lherzolitas y wherlitas. La dunita superior, sin embargo, está compuesta principalmente por una dunita masiva en la que aparecen niveles menores de piroxenita y harzburgita paralelos a la foliación. En relación a las composiciones modales, la dunita inferior presenta un mayor contenido en anfíbol (>10%), mientras que en la dunita superior la abun-

dancia modal de anfíbol nunca supera el 5%. Espinelas ricas en cromo, aparecen en ambas unidades, o bien diseminadas o bien formando niveles. Sólo en la dunita superior aparecen bandas masivas de cromitas de hasta 50 cm de espesor.

La piroxenita situada en la zona central del complejo estratificado, es una unidad en la que aparecen principalmente piroxenitas con granate, websteritas y ortopiroxenitas alternantes con rocas máficas, dunitas y harzburgitas en menor proporción (Santos *et al.*, 2002).

QUÍMICA MINERAL

Las composiciones minerales fueron determinadas mediante microsonda electrónica, JEOL JXA 8900 y JEOL JCMA-733 MkII, pertenecientes al Centro de Microscopía electrónica de la Universidad Complutense de Madrid y al Instituto Geológico de la Universidad de Tokyo, respectivamente.

Los olivinos de las rocas ultramáficas del macizo de Herbeira se caracterizan por los bajos valores de $Mg/(Mg+Fe)$ (Mg#) que presentan (Fig. 2). Estos valores varían entre 0,89 y 0,90 en todas las litologías excepto en las piroxenitas, donde el contenido en Mg# es mucho menor, 0,85-0,87.

Las espinelas muestran zonados químicos en relación con las sustituciones de Al-Cr y Mg-Fe²⁺. Los bordes de grano suelen estar empobrecidos en Mg y Cr, mientras que los centros son enriquecidos en Al y Fe²⁺. Las peridotitas al

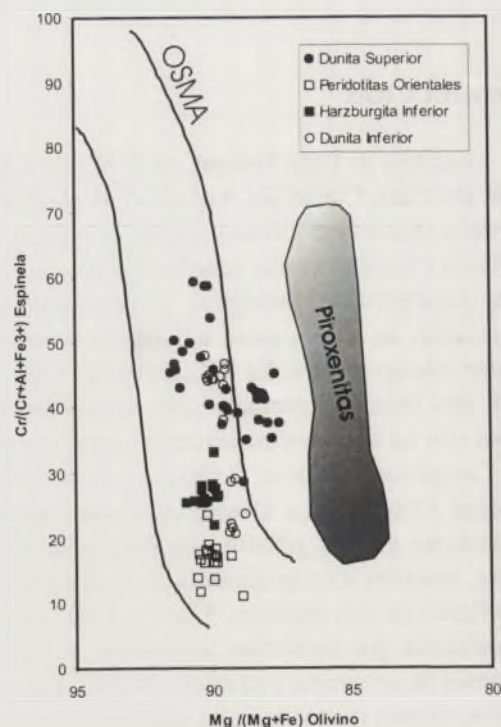


FIGURA 2. Contenido en Cr# en las espinelas vs Mg# del olivino. Campo de "olivine-spinel mantle array" (OSMA) según Arai (1992). Campo composicional de piroxenitas según Santos *et al.* (2002).

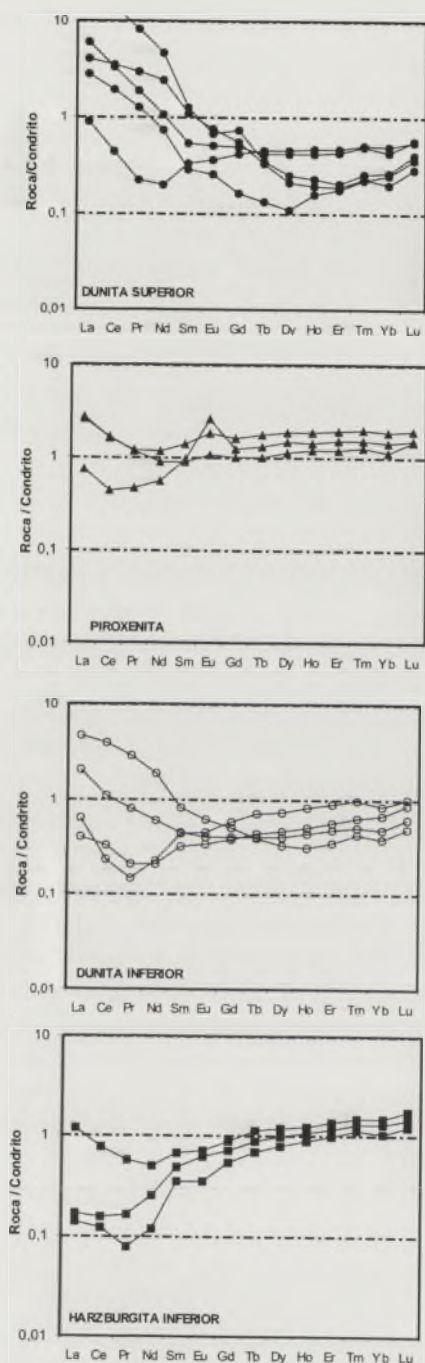


FIGURA 3. Diagramas de tierras raras, valores normalizados a la condrita según Sun y McDonough (1989).

este de la FTH, contienen espinelas aluminicas con valores de $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$ ($\text{Cr}\#$) $< 0,3$. En el sector occidental las espinelas son de composición rica en aluminio en las harzburgitas y cromíferas en las dunitas. En general, se puede decir que el contenido en $\text{Cr}\#$ de las espinelas en el sector occidental aumenta de muro a techo, aunque los valores más altos de $\text{Cr}\#$ se encuentran siempre en las mineralizaciones de cromita asociadas a niveles de dunita en la harzburgita inferior y en concentraciones masivas en la dunita superior, con valores de $\text{Cr}\#$ entre 0,6 y 0,8 (Fig. 2).

Si relacionamos el contenido en $\text{Cr}\#$ de las espinelas con los valores de $\text{Mg}\#$ de olivino coexistentes (Fig. 2), se observa que las peridotitas orientales, harzburgita inferior, dunita inferior y algunas muestras de la dunita superior caen dentro del campo limitado por el *mantle-array* de Arai (1992). Mientras que el resto de las muestras pertenecientes a la dunita superior y a la piroxenita se desvían hacia valores inferiores de $\text{Mg}\#$ en olivino.

Los anfíboles en las peridotitas orientales son en su mayoría horblendas pargasíticas, mientras que en el sector occidental son mayoritariamente magnesio-horblendas. Los anfíboles más ricos en TiO_2 ($> 0,2\%$ en peso) y K_2O ($> 0,4\%$ en peso) se encuentran localizados en las peridotitas orientales.

GEOQUÍMICA

En base a la geoquímica de elementos mayores, las rocas ultramáficas del Macizo de Herbeira se diferencian principalmente por las variaciones en el contenido de MgO . Los diagramas binarios de MgO vs. otros elementos muestran claramente esta variación, en los cuales las piroxenitas siempre presentan valores inferiores de $\text{MgO} < 30\%$. El resto de las peridotitas que forman el macizo, contienen valores de MgO comprendidos entre 35-45%.

Los diagramas de valores de tierras raras normalizados al condrito (Fig. 3), presentan en casi todas las litologías un enriquecimiento en tierras raras ligeras. Las dunitas del sector occidental son las que muestran un mayor enriquecimiento en tierras raras ligeras con respecto a las tierras raras pesadas. Dentro de las unidades duníticas, la dunita superior presenta un enriquecimiento más acusado, con valores de La de hasta 10 veces por encima de los valores condriticos. Peridotitas orientales y piroxenitas muestran un enriquecimiento menor, con patrones más planos. La harzburgita inferior es la única unidad en todo el macizo que presenta un patrón empobrecido en tierras raras ligeras con respecto a las pesadas, aún así se observan ligeros enriquecimientos en La.

En los diagramas multielemento normalizados al manto primitivo (Fig. 4), se observa un enriquecimiento generalizado en elementos como Rb, Ba, Th, U. Anomalías negativas acusadas de Nb y Zr, están presentes en todas las litologías. Se pueden observar suaves anomalías positivas de Sr y Eu, aunque estas no están tan claramente definidas en todas las litologías ultramáficas. Tanto en la dunita superior como en las peridotitas orientales, aparecen en ocasiones suaves anomalías negativas de Sr.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el diagrama que relaciona el contenido en $\text{Cr}\#$ de las espinelas con respecto al contenido en $\text{Mg}\#$ del olivino (Fig. 2), se observa como las peridotitas orientales, harzburgita inferior y dunita inferior muestran una tendencia de enri-

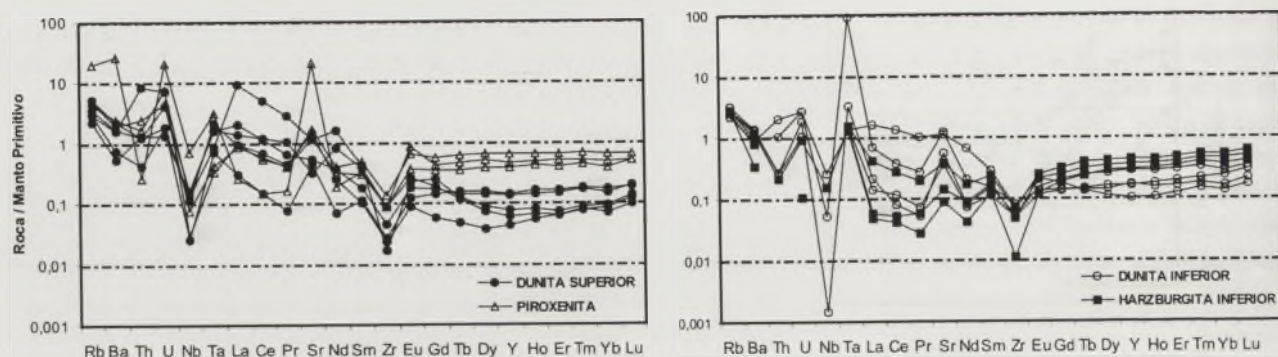


FIGURA 4. Diagramas multielemento, valores normalizados al manto primitivo según Sun y McDonough (1989).

quecimiento progresivo en el Cr# de las espinelas, la cual se encuentra delimitada en el campo del *mantle-array*, lo que sugiere un origen residual para este conjunto de rocas. Sin embargo la mayoría de las dunitas superiores y las piroxenitas en su totalidad (Santos *et al.*, 2002) se proyectan fuera del campo del *mantle-array*, lo que indica que en su formación han intervenido procesos de cristalización fraccionada.

La distribución y composición de los anfíboles no parece reflejar que todos ellos sean producto de la alteración por reemplazamiento de los clinopiroxenos. Los anfíboles ricos en TiO_2 y K_2O de la peridotita oriental podrían estar relacionados con algún tipo de metasomatismo mantélico (Zanetti *et al.*, 1999).

El enriquecimiento en tierras raras ligeras ha sido observado en numerosos macizos ultramáficos (Zanetti *et al.*, 1999, etc). Este enriquecimiento suele ser atribuido a la interacción de las rocas ultramáficas con fluidos o fundidos ricos en elementos incompatibles. Las anomalías negativas de Nb y Zr, son características de regiones mantélicas situadas en zonas de arco-isla.

En base a los datos de química mineral y geoquímica, el ambiente geodinámico más favorable para la formación de las rocas ultramáficas del macizo de Herbeira sería la raíz de un arco-isla sobre una zona de subducción (Moreno *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2002). En este contexto, el continuo aporte de fundidos o fluidos enriquecidos en tierras raras ligeras, provenientes de la lámina de subducción, contribuye a una continua fusión, y a la segregación de fundidos en un sistema abierto, *open-melting system* (Ozawa y Shimizu, 1995). De esta forma, las rocas residuales serían la harzburgita inferior y a la dunita inferior, mientras que la segregación de fundidos en la base de la corteza daría lugar a la piroxenita y la dunita superior. Las peridotitas orientales estarían situadas en zonas profundas, bajo la harzburgita inferior, formando parte de un manto más fértil, que también ha sido afectado por fundidos enriquecidos provenientes de la lámina de subducción, tal y como evidencian los apatitos encontrados en los cuerpos ricos en hornblenda y flogopitas.

REFERENCIAS

- Ábalos, B., Puelles, P. y Gil Ibarguchi, J.I. (2003): Structural assemblage of high pressure mantle and crustal rocks in a subduction channel (Cabo Ortegal, NW Spain). *Tectonics*, 22: 1-21.
- Arai, S. (1992): Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potencial guide to magma chemistry. *Mineralogical and Magazine*, 56: 173-184.
- Girardeau, J. y Gil Ibarguchi, J.I. (1991): Pyroxenite-rich peridotites of the Cabo Ortegal Complex: evidence for large-scale upper mantle heterogeneity. *Journal of Petrology, Lherzolites Special Issue*, 135-154.
- Monterrubio, S. (1991): *Mineralizaciones asociadas a rocas ultrabásicas en el Hercínico español*. Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid.
- Moreno, T. (1999): *Platinum group elements and chromite mineralization in ultramafic rocks: a case study from the Cabo Ortegal Complex (NW Spain)*. PhD Thesis, Cardiff University.
- Moreno, T., Gibbons, W., Prichard, H. y Lunar, R. (2001): Platiniferous chromitite and the tectonic setting of ultramafics rocks in Cabo Ortegal, NW Spain. *Journal of the Geological Society, London*, 158: 601-614.
- Ozawa, K. y Shimizu, N. (1995): Open-system melting in the upper mantle: Constraints from the Hayachine-Miyamori ophiolite, NE Japan. *Journal of Geophysical Research*, 10 (b11): 22.315-22.335.
- Santos, J., Schärer, U., Gil Ibarguchi, J.I. y Girardeau, J. (2002): Genesis of pyroxenite-rich peridotite at Cabo Ortegal (NW Spain): Geochemical and Pb-Sr-Nd Isotope data. *Journal of Petrology*, 43 (1): 17-43.
- Sun, S. y McDonough, W. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: *Magmatism in Ocean Basins* (A.D. Saunders y M.J. Norry, Eds.). Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Zanetti, A., Mazzuchelli, M., Rivalenti, G. y Vannucci, R. (1999): The Finero phlogopite peridotite massif: an example of subduction related metasomatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134: 107-122.